

Pat nt Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 09311238  
PUBLICATION DATE : 02-12-97

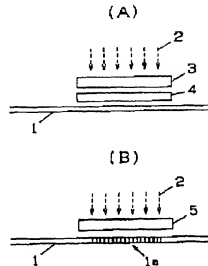
APPLICATION DATE : 22-05-96  
APPLICATION NUMBER : 08127057

APPLICANT : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD;

INVENTOR : ENOMOTO TADASHI;

INT.CL. : G02B 6/13 G02B 5/18

TITLE : FORMATION OF OPTICAL  
WAVEGUIDE TYPE DIFFRACTION  
GRATING



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for forming an optical waveguide type diffraction grating capable of forming this optical waveguide type diffraction grating having various reflection or transmission characteristics.

SOLUTION: In a first stage, an optical fiber 1 is irradiated with luminous fluxes 2 for irradiation via an exposure mask 3 and an optical system 4. This optical fiber 1 has a core added with Ge. The refractive index of the core part increases when the core part is irradiated with light near a wavelength of 240nm. A refractive index change is induced in the core part by irradiating the core part with the UV rays of such wavelength as the luminous fluxes 2 for irradiation. The optical system is a cylindrical lens. In a second stage, the core part of the optical fiber 1 in which the refractive index change is induced in the first stage is irradiated with the luminous fluxes 2 for irradiation via a phase mask 5, by which a diffraction grating forming apart 1a is formed.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-311238

(43) 公開日 平成9年(1997)12月2日

(51) Int. Cl. <sup>8</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 6/13 5/18			G 0 2 B 6/12 5/18	M

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

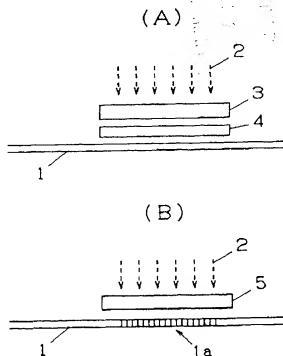
(21) 出願番号	特願平8-127057	(71) 出願人	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(22) 出願日	平成8年(1996)5月22日	(72) 発明者	井上 享 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
		(72) 発明者	伊藤 達也 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
		(72) 発明者	伊藤 真澄 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
		(74) 代理人	弁理士 石井 康夫 (外1名)
		最終頁に続く	

## (54) 【発明の名称】 光導波路型回折格子の作成方法

## (57) 【要約】

【課題】 多様な反射あるいは透過特性を有する光導波路型回折格子を作成することができる光導波路型回折格子の作成方法を提供する。

【解決手段】 第1の工程では、露光マスク3および光学系4を介して、照射光束2が光ファイバ1を照射する。光ファイバ1は、Ge添加のコアを有したものであり、これに波長240nm付近の光を照射するとコア部の屈折率が上昇する。このような波長の紫外線を照射光束2として照射し、コア部に屈折率変化を生じさせる。光学系1はシリンドリカルレンズである。第2の工程では、第1の工程で屈折率変化を生じた光ファイバ1のコア部に位相マスク5を介して照射光束2を照射して、回折格子形成部1aが形成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路の一部に照射して前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波部に空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とする光導波路型回折格子の作成方法。

【請求項2】 光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、前記光導波路の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的な周期が長手方向に一定で前記所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とする光導波路型回折格子の作成方法。

【請求項3】 光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、長手方向に緩やかな強度分布を持たせるとともに、該緩やかな強度分布の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的な周期が長手方向に一定で前記所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とする光導波路型回折格子の作成方法。

【請求項4】 光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、前記光導波路の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的な周期が長手方向に変化し前記所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とする光導波路型回折格子の作成方法。

【請求項5】 光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、長手方向に強度分布を持たせて照射して、前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成するとともに、平均的屈折率を長手方向に一定にすることを特徴とする光導波路型回折格子の作成方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバまたは光導波路等の光導波部に回折格子が形成された光導波路型回折格子の作成方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光導波路型回折格子は、G等を追加し

た導波路の光誘起屈折率変化を用いて、導波路にブラッグ回折格子を形成したものである。この光導波路型回折格子は、特定波長の光のみを反射する反射フィルタとして利用できるほか、波長調停素子、センサ素子など、広い活用が期待されている。中でも、光導波路として光ファイバを用いたファイバグレーティングは、伝送路として用いられる光ファイバとの接続性もよいため重要となっている。

【0003】光導波路型回折格子の作成方法としては、導波路の側面より紫外線干渉パターンを投影し、任意の周期で空間的に屈折率変化を形成する方法、例えば、2光束干渉法、ブリズム干渉法、位相格子干渉法などが知られている。このように、光の干渉を利用して作成する回折格子の屈折率の変化は、等間隔である場合が多く、特定の波長において反射特性を示す。これに対して、チャープグレーティングが提案されており、例えば、Optical Fiber Communication Conference '94, postdead line paper-2, PD2-1~PD2-4で知られている。

【0004】図20は、チャープグレーティングを説明する説明図である。図中、6.1は波長 $\lambda_1$ の光信号、6.2は波長 $\lambda_2$ の光信号、6.3は波長 $\lambda_3$ の光信号、6.4は波長 $\lambda_4$ の光信号、6.5は光ファイバである。波長の大小関係は、

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \lambda_4$$

である。チャープグレーティングは、上述した回折格子の反射波長をファイバの長手方向にずらせたもの、すなわち、チャープさせるものである。このチャープグレーティングにより波長分散を補償することが可能である。

【0005】このチャープグレーティングの例では、光ファイバ6.5は、紫外線光誘起屈折率変化によりコア部の屈折率を変化させたものであり、図示左側から入射された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の各光信号6.1~6.4は、途中で入射側に反射される。すなわち、波長が長いものほど入射側から遠い位置で反射されるように、入射側から右側に向かって屈折率変化であるグレーティングの周期が徐々に大きくなるようにされている。

【0006】チャープグレーティングを作成する方法としては、OPTICS LETTERS, 19(17), (september 1, 1994), p. 1314-1316に記載のように、移動マスクにより選ばれる光ファイバにレーザ光を照射した後、位相マスクを介してレーザ光を照射してブラッグ位相格子を形成するという2工程による方法がある。あるいは、特公衆平5-508028号公報に記載のように、湾曲した第2の面を有するブリズムによって定在波干渉フィールドを生成することによって形成する方法などがある。

【0007】図21は、従来の2工程でチャープグレー

ーティングを作成する装置の説明図である。図21

(A)は第1の工程、図21(B)は第2の工程の説明図である。図中、1は光ファイバ、1aは回折格子形成部、2は照射光束、5は位相マスク、7は遮光マスクである。

【0008】図21(A)に示す第1の工程では、光ファイバ1の上で、光ファイバ1の長手方向に沿って、遮光マスク7を一定速度で移動させ、この上から、レーザ光等の照射光束2を光ファイバ1に照射する。この遮光マスク7の動きにより、光ファイバ1は部分によって露光時間が異なるために、光ファイバ1のコアの屈折率が長手方向に線形的に増加する。

【0009】図21(B)に示す第2の工程では、第1の工程で屈折率変化を生じた光ファイバ1に空間的に一定周期の位相マスク5を介して照射光束2を照射して、格子間隔が一定のブラッグ位相格子である回折格子形成部1aを形成する。第1の工程で生じた屈折率変化によって、コア部を伝播する伝搬光の速度が変化するため、実効的な格子間隔が変化するることになり、チャープブグレーティングが形成される。

【0010】しかし、回折格子の反射率の波長特性あるいは透過特性として、上述したチャープブグレーティングに限らず、多様な特性のものを得たいという要望があるが、光ファイバ1のコア部の屈折率を長手方向に線形的に増加させるだけでは、この要望を満たすことができない。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上述した問題点を解決するためになされたもので、多様な反射あるいは透過特性を有する光導波路型回折格子を作成することができる光導波路型回折格子の作成方法を提供することを目的とするものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明においては、光導波路型回折格子の作成方法において、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路の一部に照射して前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とするものである。

【0013】請求項2に記載の発明においては、光導波路型回折格子の作成方法において、前記光導波路に、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、前記光導波路に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的な周期が長手方向に一定で前記所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とする

ものである。

【0014】請求項3に記載の発明においては、光導波路型回折格子の作成方法において、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、長手方向に緩やかな光強度分布を持たせるとともに、該緩やかな光強度分布の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、前記光導波路に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的な周期が長手方向に一定で前記所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とするものである。

【0015】請求項4に記載の発明においては、光導波路型回折格子の作成方法において、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、前記光導波路に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的な周期が長手方向に変化し前記所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とするものである。

【0016】請求項5に記載の発明においては、光導波路型回折格子の作成方法において、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、長手方向に光強度分布を持たせて照射して、前記光導波路に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成するとともに、平均的屈折率を長手方向に一定にすることを特徴とするものである。

【0017】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の光導波路型回折格子の作成方法による光導波路型回折格子の作成装置の説明図である。図1(A)は第1の工程、図1(B)は第2の工程の説明図である。図中、図21と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。3は露光マスク、4は光学系である。図21を参照して説明した従来の装置に比べ、第1の工程において、移動する遮光マスク7に代え、露光マスク3と光学系4を用いたものである。透過率が光ファイバ1の光軸方向、すなわち長手方向に変化する露光マスク3によって、長手方向に光強度分布を持たせたもので、光ファイバ1のコア部の屈折率を長手方向に任意に変化させることができる。

【0018】図1(A)に示す第1の工程では、光ファイバ1の長手方向に沿って、露光マスク3が配置され、さらに、この露光マスク3と光ファイバ1との間に光学系4が配置され、露光マスク3および光学系4を介して、照射光束2が光ファイバ1を照射する。光ファイバ1は、G<sub>0</sub>添加のコアを有したものであり、これに波長

210nm付近の光を照射するとコア部の屈折率が上昇する。このような波長の紫外線を照射光束2として照射し、コア部に屈折率変化を生じさせる。

【0019】この実施の形態では、照射光束2は、均一な強度分布を有したものとするが、必ずしも均一である必要はない。適宜の補正を行なうことにより、所望の光強度分布を得ることができればよい。光学系11は、露光マスク3を透過した光を光ファイバ1のコア部に収束させるためのもので、光ファイバ1の光軸と平行な軸を有するシリンドリカルレンズを用いた。もちろん、光学系4を用いることなく、露光マスク3からの光線を直接、光ファイバ1に導入してもよい。

【0020】図1(B)に示す第2の工程は、図21(B)に示した従来の第2の工程の装置と同様であり、第1の工程で屈折率変化を生じた光ファイバ1のコア部に位相マスク5を介して照射光束2を照射して、回折格子形成部1aが形成される。

【0021】この装置では、露光マスク3の長手方向の透過率分布を、所望する特性に応じて任意に設定することにより、照射光束2に、光ファイバ1の長手方向に任意の光強度分布を持たせることができる。最初に、従来の技術と同様なチャートグレーティングを作成する方法を一例として説明する。

【0022】図2は、チャートグレーティングにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。図2(A)は露光マスクの透過率分布、図2(B)は露光マスクを透過する照射光束の光強度分布、図2(C)は第1の工程において屈折率変化を受けたときの屈折率分布を示す。図2(D)は位相マスクを透過する照射光束の光強度パターン、図2(E)は第2の工程において作成された回折格子の屈折率の分布を示し、図2(F)はこの光導波路型回折格子の作用の説明図である。いずれの説明図も模式的に表わしている。横軸は光ファイバの長手方向に沿った位置である。図2(F)においては光ファイバである。

【0023】チャートグレーティングは、第1の工程において、図1(A)に示した露光マスクとして、透過率分布が、図2(A)に示したように、光ファイバの軸方向に左側を起点として、右側への位置に対応して直線的に透過率が大きくなっているものを用いる。これを透過する照射光束2の光強度は、図2(B)に示すように、右側に行くにつれて増加する。このような光強度分布の光を照射すると、光導波部に、図2(C)に示すように右側に行くにつれて屈折率が増加する屈折率変化を与える。起点の位置および起点の透過率の値は適宜設定される。

【0024】第2の工程において、屈折率変化が与えられた領域を含む光導波路に、図1(B)に示した位相マスク5を介して、照射光束2を照射する。位相マスク5を透過した照射光束2の強度分布パターンは、図2

(D)に示すように、空間的な周期が光導波路の長手方向に一定である。その結果、図2(E)に示すように、右側に行くにつれて増加する屈折率に光ファイバ1の軸方向に空間隔で一定の屈折率変化が重畳されたものが形成される。

【0025】屈折率が大ききことは、光路長が大ききことと等価であるから、図2(E)の屈折率分布をもつ回折格子は、実効的に右側に行くにつれて間隔が広がるような回折格子、すなわち、チャートグレーティングが形成される。このチャートグレーティングは、図2(F)に示すように、右側に行くにつれて反射波長が長くなる特性を示す。したがって、反射帯域を拡げることができる。また、この特性によって、図2(F)に示すように、左側から進行した光信号は、その波長に応じて、波長 $\lambda_1$ の成分が進行した側に近い位置で反射し、波長 $\lambda_2$ の成分が進行した側から中間の位置で反射し、波長 $\lambda_3$ の成分が進行した側から遠い位置で反射する。波長の大小関係は、 $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ である。

【0026】すなわち、波長の長い成分ほど大きい距離を経由して反射することとなり、これと逆の特性を持った波長分散の補償ができる。このようにして作成された回折格子に逆方向である右側から光信号を導入してもよい。その場合は、波長の短い成分ほど大きい距離を経由して反射することとなる。

【0027】図1(A)に戻って説明する。露光マスク3の透過率分布は、右側に行くにつれて透過率が直線的に大きくなったものであるが、透過率分布は、所望する反射特性に応じたパターンとすることができる。すなわち、直線状に限らず、曲線状、あるいは、折れ線状に屈折率を増加させるようにしてもよく、あるいは、これらとは逆に右側に行くにつれて透過率が減少するようにしてもよい。また、必ずしも一方向に増加または減少させるものに限らず、左右対称的なパターン等、適宜のパターンで透過率を変えるようにして、希望する反射特性のチャートグレーティングを作成することができる。

【0028】あるいは、第1の工程においては、露光マスク3の透過率を均一にするが、露光マスク3を取り外して、均一な強度分布を与えるように照射を行なうようにしてもよい。それにより、あらかじめ、第2の工程における回折格子の格子間隔を実質的に拡げることができる。

【0029】図3は、光導波路型ファブリヘローフィルタにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。図3(A)は露光マスクの透過率分布、図3(B)は露光マスクを透過した照射光束の光強度分布、図3(C)は第1の工程において屈折率変化を受けたときの屈折率分布を示す。図3(D)は位相マスクを透過した照射光束の光強度パターン、図3(E)は第2の工程において作成された回折格子の屈折率分布を示し、図3(F)はこの光導波路型回折格子の作用の説明図である。いずれの説

明開も模式的に表わしている。横軸は光ファイバの長手方向に沿った位置である。図3(F)において1は光ファイバである。

【0030】光導波路型ファブリペローフィルタを作成するには、第1の工程において、露光マスク3の透過率の分布を図3(A)に示すような、光ファイバ1の光軸の方向の所定間隔においでのみ光を透過させる特性とする。光ファイバ1に照射する光強度分布は、図3(B)に示すように、光導波路の一部の所定間隔にわたって相対強度が1であって、他の領域において相対強度が0であり遮光される略矩形形状であって、略方形形状に急峻に変化するような特性になっている。したがって、光ファイバ1の一部の所定間隔にわたって光が照射される。相対強度が1の所定間隔内において、光導波部の屈折率が飽和レベルに達する程度の強度を持たせる。このような光強度分布の光を照射すると、光導波部に、図3(C)に示すような屈折率変化を与える。

【0031】第2の工程において、屈折率変化を与えられた領域を含む光導波部に、位相マスク5を介して、照射光束2を照射する。その際の、位相マスク5を通過した照射光束2の強度分布パターンは、図3(D)に示すように、空間的な周期が光導波部の長手方向に一定で上述した所定間隔よりも短い明暗を持った一定周期の強度分布パターンである。振幅は、振幅のピークが光導波部の屈折率が飽和レベルに達する程度まで小さくすると好適である。

【0032】その結果、図3(E)に示すように、光導波部の屈折率が飽和レベルに達していた部分を除いては、周期が長手方向に一定な回折格子が作成される。第1の工程において、飽和レベルに達する屈折率変化を与えられる領域の個数は、通常、中央部分に1個であり、照射される領域の幅は、所望のフィルタ特性に合わせて設計されるが、回折格子の屈折率の周期の10倍以上であることが好ましい。この場合、屈折率の変調パターンの周期性とは独立して所定間隔を設定することができる。

【0033】図3(F)に示されるように、光導波部の長手方向の少なくとも2箇所に回折格子部を有し、この回折格子部は屈折率が長手方向に一定な周期で変調された、回折格子部の間にこの周期よりも長い所定間隔にわたって屈折率が大きな所定レベルとなる部分を有している。中央の領域で屈折率変化が欠如しており、この部分での多重反射により、入射角が0°のファブリペローフィルタとなる。

【0034】反射型のフィルタとして使用する場合を考えると、屈折率変化の欠如がない場合には、回折格子の屈折率の周期に対応する所定の波長の光が入射方向に反射し、その他の波長の光は図3Fを省略した場合に反射端で吸収される。屈折率変化が欠如している場合には、図3(F)に示すように、左側の回折格子領域で反射する反

射光が、および右側の回折格子領域で反射する反射光dとは、照射される領域の長さにはほぼ対応した間隔dにより位相差が生じる。なお、格子が連続している左右の各回折格子領域内では位相問題が合っている。

【0035】光の波長をλ、光導波部の屈折率をnとし、mを正の整数とするととき、透過光が最大になるのは、 $2nd = m\lambda$ のときであり、透過光が最小になるのは、 $2nd = (2m+1)\lambda/2$ のときである。その結果、回折格子を透過または反射する波長の光のうち、上述した条件を満たす波長の光の透過率または反射率を最大または最小にすることができる。なお、隣り合う透過ピークの間隔(波数差)Δσは、 $\Delta\sigma = 1/(2nd)$ で表されるため、実用上、dが小さい方が単一の波長(波数)の光を分離して取り出すやすくなるが、強度分布パターンの空間的な周期の10倍以上であることが好ましい。

【0036】なお、上述した説明では、露光マスク3により、照射される領域の長さを設定したが、照射光束2の光ファイバ長手方向の長さを間隔dに対応する長さまで短くすることができれば、露光マスク3は不要である。また、第1の工程で、光ファイバ1に照射する光強度分布は、必ずしも所定間隔にわたって光導波部の屈折率が飽和レベルに達する強度を持たせる必要はない。ある程度の強度を持たせれば、周期的変化の変調量を低減させ、反射率を小さくするからである。

【0037】図4は、第1の光導波路型帯域フィルタにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。図4(A)は露光マスクの透過率分布、図4(B)は露光マスクを透過した照射光束の光強度分布、図4(C)は第1の工程において屈折率変化を受けたときの屈折率分布を示す。図4(D)は位相マスクを透過した照射光束の光強度パターン、図4(E)は第2の工程において作成された回折格子の屈折率の分布を示し、図4(F)はこの光導波路型回折格子の作用の説明図である。いずれの説明図も模式的に表わしている。横軸は光ファイバの長手方向に沿った位置である。図4(F)において1は光ファイバである。

【0038】第1の光導波路型帯域フィルタを作成するには、第1の工程において、露光マスク3の透過率の分布を、図4(A)に示すように、光ファイバ1の軸方向に左側を起点として、右側の位置に対応して直線的に透過率が大きくなるとともに、光軸の方向の所定間隔において光を大きく透過させるような、所定の透過率を有する特性とする。光ファイバ1に照射する光強度分布は、図4(B)に示すように、右側に行くにつれて増加する緩やかな光強度分布を有するときに、この緩やかな光強度分布の一部の所定間隔にわたって相対強度が1の略矩形形状であって、略方形形状に急峻に変化するような特性になっている。相対強度が1の所定間隔において、光導波部の屈折率が飽和レベルに達する程度の強度

を持たせることにより、光導波部に図1(C)に示すような屈折率変化を与える。起点の位置および終点の透過率の値は適宜設定される。

【0039】第2の工程においては、位相マスク5を通過した照射光束2の強度分布パターンは、図4(D)に示すように、空間的な周期が光導波路の長手方向に一定な周期で変調され、回折格子部の間にこの周期よりも長い所定間隔にわたって屈折率が大きな所定レベルになる部分を有し、2箇所の回折格子部にまたがって平均的屈折率が緩やかに変化している。すなわち、光導波部の屈折率が飽和レベルに達していた部分を除いては、周期が長手方向に一定な回折格子部に直線的に増加する屈折率変化が重畳される。その結果、チャートグレーティングが形成されると同時に、特定の波長領域を反射させる回折格子の屈折率変化のパターンが実質的に消去される。

【0040】第1の工程において、飽和レベルに達する屈折率変化を与えられる領域の個数は、通常、1個であり、照射される領域の位置および長さは、所望のフィルタ特性に合わせて設計されるが、回折格子の屈折率の変化の周期の10倍以上であることが好ましい。この場合、屈折率の変調パターンの周期性とは独立して所定間隔を設定することができる。また、図4(A)に示した透過率分布の緩やかな成分は、必ずしも長手方向に直線的に増加させる必要はなく、所望のフィルタ特性および、光強度と屈折率変化の対応関係に応じて適宜設計される。

【0041】反射型のフィルタとして使用する場合を考える。屈折率変化の欠如がない場合は、波長 $\lambda_1$ から波長 $\lambda_2$ までの光が入射方向に反射し、その他の波長の光は透過して図示を省略した無反射終端で吸収される。屈折率変化が欠如しない場合には、図4(F)に示すように、屈折率変化が欠如した領域で反射するはずであった波長 $\lambda_1$  ( $\lambda_1 > \lambda_2$ ) の光は光ファイバ1のコア部を左から右に透過する。

【0042】図5は、光導波路型帯域フィルタの特性を模式的に示す特性図であり、図5(A)は反射特性、図5(B)は透過特性の線図である。上述した屈折率変化によって、この回折格子を反射器として用いた場合の波長に対する反射特性は、図5(A)に示すように反射率が波長 $\lambda_1$ の近傍において低下する反射型の帯域阻止フィルタとなる。一方、この回折格子を透過器として用いた場合の波長に対する反射特性は、図5(B)に示すように透過率が波長 $\lambda_1$ の近傍において上昇する透過型の帯域通過フィルタとなる。光は図1(D)の光ファイバ1の右側から入射させてもよく、波長対称性は逆に

なるが同様の反射率および透過率となる。

【0043】上述した説明では、露光マスク3により、照射される領域の長さを設定したが、照射光束2の光ファイバ長手方向の長さを短くし、照射位置を任意決めできれば、露光マスク3は不要である。また、図5を参照して説明した光導波路型フリップローフィルタの場合と同様に、第1の工程で、必ずしも所定間隔にはたって光導波部の屈折率が飽和レベルに達する強度を持たせる必要はない。

【0044】図6は、第2の光導波路型帯域フィルタにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。図6(A)は露光マスクの透過率分布、図6(B)は露光マスクを透過した照射光束の光強度分布、図6(C)は第1の工程において屈折率変化を受けたときの屈折率分布、図6(D)は位相マスクを透過した照射光束の光強度パターン、図6(E)は第2の工程において作成された回折格子の屈折率の分布、図6(F)は回折格子のピッチを示し、図6(G)はこの光導波路型回折格子の作用の説明図である。いずれの説明図も模式的に表わしている。横軸は光ファイバの長手方向に沿った位置である。図6(G)において1は光ファイバである。

【0045】この例では、第1の工程として、図3を参照して説明した光導波路型フリップローフィルタの例と同様の透過率の分布を有する露光フィルタ3を用いる。したがって、図6(A)ないし図6(C)は、図3(A)ないし図3(C)と同様である。

【0046】第2の工程において、屈折率変化が与えられた領域を含む光導波部に、位相マスク5を介して、照射光束2を照射する。その際、位相マスク5を通過した照射光束2の強度分布パターンを、この例では図6(D)に示す特性とする。すなわち、空間的な周期が光導波路の長手方向に変化した上述した所定間隔よりも短い明暗を持った一定振幅の強度分布パターンである。このような強度分布パターンを実現するには、例えば、位相格子5をチャートグレーティングを形成するようなパターンのものとすればよい。

【0047】その結果、図6(E)に示すように、光導波部の長手方向の少なくとも2箇所に回折格子部を有し、この回折格子部は2箇所の前記回折格子部にわたって屈折率の周期が長手方向に緩やかに変化するとともに、回折格子部の間にこの周期よりも長い所定間隔にわたって屈折率が大きな所定レベルとなる部分を有している。すなわち、光導波部の屈折率が飽和レベルに達していた部分を除いては、空間的な周期が長手方向に変化する回折格子が作成される。

【0048】第1の工程において、飽和レベルに達する屈折率変化を与えられる領域の個数は、通常、1個であり、照射される領域の位置および長さは、所望のフィルタ特性に合わせて設計されるが、回折格子の屈折率の変化の周期の10倍以上であることが好ましい。

【0019】このフィルタは、図1、図9を参照して説明した第1の光導波路型帯域フィルタと同様な特性を有するものである。第1の光導波路型帯域フィルタでは、回折格子の間隔に一定な屈折率変化に直線的に増加する屈折率変化を重畳させることによってチャープトグレーディングを実現したが、この第2の光導波路型帯域フィルタの作成方法においては、第2の工程で回折格子の空間的な周期が光ファイバの長手方向に徐々に変化するチャープトグレーディングを形成している。

【0050】図1を参照して説明した光導波路型回折格子の作成装置は、図21を参照して説明した従来の作成装置に比べて、任意の光強度パターンを容易に得ることができる利点がある。しかし、第1の工程および第2の工程において使用する具体的な装置は、図1に示した作成装置に限られるものではない。以下、第1、第2の各工程で用いられ、同様の利点を有する作成装置の他の具体例について説明する。

【0051】図7は、本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第1の工程の第2の具体例の説明図である。図中、図1と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。11は反射鏡である。図1(A)に示した露光マスク3に代えて、反射率が変化する反射鏡11を用いて光強度分布を持たせたものである。

【0052】反射鏡11として、反射率が緩やかに変化する反射鏡を用い、反射率の変化特性を、例えば、図1の上方が大きく、下方に行くに従って直線的に反射率が小さくなっているものを用いて、第1の工程を実施すれば、図2に示したチャープトグレーディングを作成することができる。図1(A)に示した露光マスク3の透過率分布と同様に、反射率分布を適宜設定することにより、第1の工程における屈折率変化を形成し、図2ないし図6を参照して説明したような、種々の特性のフィルタを作成することができる。

【0053】図8は、本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第1の工程の第3の具体例の説明図である。図中、図1と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。21は移動照射光束である。移動照射光束21は、光ファイバ1に対する照射範囲を光ファイバ1の光軸方向に移動しながら照射するものである。照射光束の大きさは、回折格子の間隔より大きくてもよいが、照射範囲に比較して小さいのである。適当な光学系によって、光源から照射された照射光を絞るようにしてもよい。

【0054】移動照射光束21の移動速度を変化させると、移動速度が速い部分においては、照射量が少なく、移動速度が遅い部分においては、照射量が多くなるから、移動速度の変化によって、光ファイバ1に対して照射する光に実効的な光強度分布を持たせることができる。例えば、移動速度の変化を緩やかに行うことによって、回折格子に対して緩やかな屈折率変化を重畳させる

ことができる。移動速度を変化させる代わりに、移動速度を一定にして、移動位置に応じて照射光に光強度分布を持たせてもよい。

【0055】例えば、移動光源の強度を緩やかに変化させることによって、回折格子に対して緩やかな屈折率変化を重畳させることができる。また、移動速度と照射光の強度の両方を変化させることもできる。移動速度および照射光の強度の変化のバタンの少なくとも一つ方によって、所望の光強度分布を持たせることができる。

【0056】移動位置に応じて照射光の強度を変化させるには、図1(A)に示した露光マスク3を用いてもよい。特に、移動速度の変化と光強度の変化の一方を主として、他方をこの補正用に行うのが好適である。光強度の変化は、露光マスク3の他にも、レーザ光源の光強度をレーザービームすなわち、移動照射光束21の移動に同期させて制御することにより実現することも可能である。

【0057】移動速度の変化を適宜設定することにより露光時間を変化させ、図1(A)に示した露光マスク3の透過率分布と同様に、第1の工程における屈折率変化を形成し、図2ないし図6を参照して説明したような、種々の特性のフィルタを作成することができる。なお、図3を参照して説明した光導波路型ファブリペローフィルタや図6を参照して説明した第2の光導波路型帯域フィルタを作成する際には、大きな屈折率変化を与える必要のある領域のみを移動照射光束21の移動範囲を制限して所望の屈折率分布を実現することができる。

【0058】図9は、本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第2の工程の第2の具体例の説明図である。図中、図21、図1と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。図1(B)に示した位相マスク3に代えて、2光束干渉法を用いるものである。31はビームスプリッタ、32、33はミラーである。照射光束2をビームスプリッタ31によって2分し、それぞれを、ミラー32、33で光ファイバ1の側面に照射する。2分された照射光束2は、光ファイバ1のコア部分において干渉し、干渉縞をコア部分に照射することになる。光ファイバ1のコア部分は、干渉縞に応じたパターンで屈折率の変化が生じ、回折格子が形成される。

【0059】図10は、本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第2の工程の第3の具体例の説明図である。図中、図1と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。41はプリズムである。照射光束2をプリズム11の一面に照射し、プリズム11内で屈折して生じた干渉縞を、光ファイバ1のコア部分に照射する。光ファイバ1のコア部分は、干渉縞に応じたパターンで屈折率の変化が生じ、回折格子が形成される。

【0060】図6を参照して説明した第2の光導波路型帯域フィルタの作成においては、第2の工程において、チャープされた回折格子を形成する必要があった。図9



している。すなわち、光ファイバ1の光軸方向に周りが一定な回折格子を有するときに、屈折率の変調量が長手方向に変化して屈折率の側面および側面のヒック値を結ぶ包絡線が1/2対称で長手方向に緩やかに変化する。この回折格子は、変調量とは無関係に平均的屈折率が光ファイバの長手方向に一定となり、図13(D)に示すように反射波長が一定となる。図示のように、平均的屈折率を一定とする範囲を回折格子の前後に拉げているため、回折格子の両端での平均的屈折率の急激な変化を避けることができる。

【0070】なお、第2の工程で作成される光導波路型回折格子は、図13(D)に示されるものに限られず、任意のものを作成することができる。屈折率の変調量に応じて、あらかじめ第1の工程において、平均的屈折率が光ファイバの長手方向に一定となるような屈折率変化を与えておけばよい。また、平均的屈折率を光ファイバの長手方向に任意に変化させることも可能である。

【0071】図14は、第2の工程で用いられ、図13(D)に示した光強度分布を実現する装置の第1の例の概略構成図である。図中、図1(B)と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。51は露光マスクである。この例は、図1(B)と同様の位相格子干渉法を適用したものである。露光マスク51は、光ファイバ1の直前に置いた。露光マスク51の透過率は、中間で大きく両側に行くにしたがって小さくなっている。露光マスク51の透過率が変調されていることによって、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンを有し照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせ、図13(D)に示した光強度分布を与えることができる。なお、露光マスク51は、入射側、すなわち、位相格子5に人射する側の光学系に挿入してもよい。

【0072】図15は、第2の工程で用いられ、図13(D)に示した光強度分布を実現する装置の第2の例の概略構成図である。図中、図9、図14と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。この実施の形態は、図9で説明した2光束干渉法を適用したものである。この例は、露光マスク51を光ファイバ1の直前に置いたものである。露光マスク51の透過率は、中間で大きく両側に行くにしたがって小さくなっている。露光マスク51の透過率が変調されていることによって、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンを有し照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせ、図13(D)に示した光強度分布を与えることができる。

【0073】図16は、第2の工程で用いられ、図15に示した第2の装置の変形例の概略構成図である。図中、図15と同様な部分には、同じ符号を付して説明を省略する。図16(A)は、透過率が中間で大きく両側に行くにしたがって小さくなっている露光マスク51を、ビームスプリッタ31を透過した光学系に挿入した

ものである。また、図16(B)は、同様の露光マスク51を、ビームスプリッタ31を反射した側の光学系に挿入したものである。いずれも、露光マスク51を挿入した光学系の照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせることができ、光ファイバ1に照射する照射光束としては、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンを有し照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせることができる。もちろん、ビームスプリッタ31を透過した側と反射の側との両方の光学系に同様の露光マスク51を挿入してもよい。

【0074】なお、図16(A)、図16(B)の場合には、図13(D)に示される干渉による光強度パターンに、干渉しない成分が加わるために、第1の工程では、この点を考慮して光強度分布を設定する必要がある。ビームスプリッタ31を透過した側と反射の側との両方の光学系に異なる種類の露光マスク51を挿入する場合にも、同様に干渉しない成分を考慮する必要がある。

【0075】図16(C)は、ビームスプリッタ31に入射する光学系に透過率が中間で大きく両側に行くにしたがって小さくなっている露光マスク51を挿入したものである。この変形例においても、ビームスプリッタ31に入射する光学系の照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせることができ、光ファイバ1に照射する照射光束としては、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンを有する照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせることができる。

【0076】図17は、第2の工程で用いられ、図13(D)に示した光強度分布を実現する装置の第3の例の概略構成図である。図中、図10、図14と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。この例は、図10で説明したプリズム干渉法を適用したものである。露光マスク51は、光ファイバ1の直前に置いた。この例も、透過率が中間で大きく両側に行くにしたがって小さくなっている露光マスク51によって、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンを有し照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせることができる。露光マスク51は、図16(C)で説明したように、入射側、すなわち、図15(A)に入射する光学系に挿入してもよい。

【0077】これらの例で用いた露光マスク51について説明する。図18は、強度パターンの具体例の説明図である。図18(A)は、強度が直線的に変化する例である。横軸は光ファイバの軸方向の距離であり、形成される回折格子の中央を0とした。また、縦軸は最大値を1とした強度の相対値である。

【0078】これを関数で表現すれば、 $Y=1-a \cdot |X|$ となる。ただし、 $a$ は定数である。

【0079】図18(B)は、強度が曲線的に変化する

例であり、図18(A)と同様に図示した。その曲線の一例を関数で表現すれば、

$$Y=0.5+0.5 \cdot \cos(\pi \cdot |X| \cdot \alpha)$$

である。ただし、 $\alpha$ は定数である。

【0080】この他、両端部の一部分のみ適度な傾斜を持って直線的に変化する台形状の強度パターンとして、回折格子が形成されていない部分から連続的に回折格子が形成された部分につながるようにすることができ

【0081】マスクの透過率のパターンを、これを通してする照射光束2の強度が所望の分布特性、例えば、図18(A)や図18(B)で表わした強度パターンとなるように協定することによって、図13(D)に示した光強度分布を形成することができる。

【0082】すなわち、周期的な強度分布パターンは干渉縞によって発生させると同時に、照射光束の全体にわたる光強度分布特性はマスクの透過率のパターンにより設定している。図18(A)や図18(B)で表わした光強度分布特性は、光ファイバの長手方向に沿って均一ではなく変化しており、回折格子の屈折率の変化の周期よりも長い所定間隔内で緩やかに変化する光強度分布特性になっている。この所定間隔は、光強度分布パターンの空間的な周期の1.0倍以上であることが好ましい。この場合、屈折率の変調パターンの周期性とは独立して光強度分布特性を設定することができる。

【0083】図19は、第2の工程で用いられ、図13(D)に示した光強度分布を実現する装置の第1の例の概略構成図である。図中、図14と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。この例は、露光マスク51を用いず、移動照射光束21の照射光束を小さくした。移動速度が遅いと照射光束は小さくなり、移動速度が遅いと照射光束は多くなる。したがって、移動速度を変化させることにより、光強度分布を変化させることができる。移動速度は、例えば、図22(A)や図22(B)で説明した強度パターンが形成されるようにする。

【0084】また、移動照射光束21の代わりに、回折格子形成部1aを均一な強度で照射できるようにしておき、光源と位相格子51との間に遮蔽体を配置して直接照射光が光ファイバ1を照射しないようにしておく。この遮蔽体にスリットを設け、これを移動させるとともに、その移動速度を変えるようにしても、照射光束の光強度分布を変化させることができる。この方法は、図8を参照して説明した、第1の工程における第3の具体例においても適用することができる。

【0085】あるいはまた、図14に示した露光マスク51を用いてもよい。移動速度の変化と、透過率が変調された露光マスク51による光強度の変化とにより、照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせることができる。特に、移動速度の変化と光強度の変化

の一方を主として、他方をこの補正用に用いると好適である。移動速度を一定とし、露光マスク51による光強度の変化のみによって、照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせることもできる。光強度の変化は、露光マスク51の他にも、レーザー光源の光強度をレーザビームすなわち、移動照射光束21の移動に同期させて制御することにより実現することも可能である。

【0086】以上の図14ないし図19を参照して説明した光導波路型回折格子の作成装置を用いて、図13(D)に示した光強度分布を実現した。チャープされた回折格子を前提にする場合には、第2の光導波路型帯域フィルタの作成における第2の工程と同様に、図14に示した位相格子法では、位相格子をチャープアブグレーティングを形成するようなパターンのもととすればよい。図15、図16に示した2光束干渉法では、レンズを用いて平面波の波面を曲げればよい。図17に示したプリズム干渉法では、プリズムの入射面を曲げればよい。従来技術の説明において参照した特公表平5-50802号公報に記載のようなプリズムによって形成してもよい。

【0087】上述した第1および第2の工程において、光ファイバ1の反射特性または透過特性の少なくともいずれかの測定を行ないながら屈折率を増加させる光を照射することが好ましい。上述した第1および第2の工程を速くして、まず、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンの光を光導波路に照射して回折格子を形成した後、回折格子の光透過特性および光反射特性の少なくとも一方を観測しながら、回折格子が形成された領域の一部または全体にわたって光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせるようにしてもよい。あるいは、第1の工程と第2の工程とを、光ファイバ1の光学特性を監視しながら交互に繰り返すようにしてもよい。また、第1、第2の工程を続けて行なうと光ファイバ1の位置決めを行ないやすいが、第2の工程を独立させて第1の工程とは別時点で行なうようにしてもよい。

【0088】

【発明の効果】以上の説明から明らかのように、請求項1に記載の発明によれば、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、光導波路の一部に照射して光導波部に屈折率変化を形成した後、この光を、光導波路に空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンとして照射して、光導波路上に回折格子を形成することから、光が照射された一部分の所定間隔に応じて回折格子の反射特性を変えることができるという効果がある。

【0089】請求項2に記載の発明によれば、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、光導波路の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を付たせて照射して、光導波部に屈折率変化を形成した後、この光を、光導波路に、空間的な周期が長手方向に一定で所定間隔よりも短い明暗

を持った強度分布パターンとして照射して、光導波路上に回折格子を形成することから、容易にワブリペローフィルタを作成することができるという効果がある。

【0090】請求項5に記載の発明によれば、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、光導波部に、長手方向に緩やかな光強度分布を持たせるとともに、緩やかな光強度分布の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、光導波部に屈折率変化を形成した後、この光を、光導波路に、空間的な周期が長手方向に一定で所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、光導波路上に回折格子を形成することから、容易に帯域通過型または帯域阻止型のフィルタを作成することができるという効果がある。

【0091】請求項4に記載の発明によれば、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波部に、光導波路の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、光導波部に屈折率変化を形成した後、この光を、光導波路に、空間的な周期が長手方向に変化し所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、光導波路上に回折格子を形成することから、容易に帯域通過型または帯域阻止型のフィルタを作成することができるという効果がある。

【0092】請求項4に記載の発明によれば、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、光導波路に、長手方向に光強度分布を持たせて照射して、光導波部に屈折率変化を形成した後、この光を、前記光導波路に、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成するとともに、平均的屈折率を長手方向に一定にすることから、所望の変調特性を有しながら平均的屈折率を一定にした光導波路型回折格子を作成することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光導波路型回折格子の作成方法による光導波路型回折格子の作成装置の説明図である。

【図2】チャプアトグレーティングにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。

【図3】光導波路型ワブリペローフィルタにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。

【図4】第1の光導波路型帯域フィルタにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。

【図5】光導波路型帯域フィルタの特性を模式的に示す特性図である。

【図6】第2の光導波路型帯域フィルタにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。

【図7】本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第1の工程の第2の具体例の説明図である。

【図8】本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第1の工程の第3の具体例の説明図である。

【図9】本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第2の工程の第2の具体例の説明図である。

【図10】本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第2の工程の第3の具体例の説明図である。

【図11】従来の回折格子における屈折率分布と反射特性の説明図である。

【図12】サイドローブのない回折格子における屈折率分布と反射特性の説明図である。

【図13】平均的屈折率を光ファイバの長手方向に一定にする光導波路型回折格子の作成方法の説明図である。

【図14】第2の工程で用いられ、図13(D)に示した屈折率変化を有する光導波路型回折格子の作成装置の第1の例の概略構成図である。

【図15】第2の工程で用いられ、図13(D)に示した光強度分布を有する装置の第2の例の概略構成図である。

【図16】第2の工程で用いられ、図15に示した第2の例の変形例の概略構成図である。

【図17】第2の工程で用いられ、図13(D)に示した屈折率変化を有する光導波路型回折格子の作成装置の第3の例の概略構成図である。

【図18】強度パターンの具体例の説明図である。

【図19】第2の工程で用いられ、図13(D)に示した屈折率変化を有する光導波路型回折格子の作成装置の第4の例の概略構成図である。

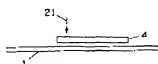
【図20】チャプアトグレーティングを説明する説明図である。

【図21】従来のチャプアトグレーティングを作成する装置の説明図である。

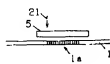
【符号の説明】

1…光ファイバ、1a…回折格子形成部、2…照射光束、3…露光マスク、4…光学系、5…位相マスク、11…反射鏡、21…移動照射光束、31…ビームスプリッタ、32、33…ミラー、41…プリズム、51…露光マスク、71…遮光マスク。

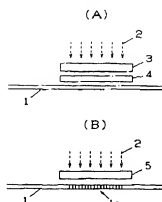
【図8】



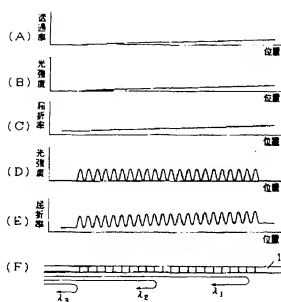
【図19】



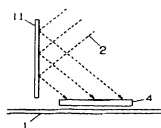
【図1】



【図2】



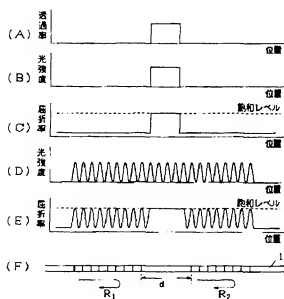
【図7】



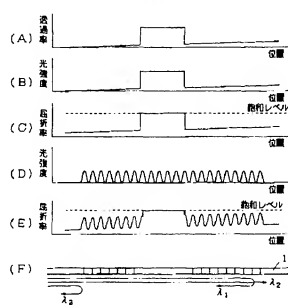
【図14】



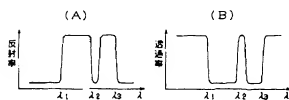
【図3】



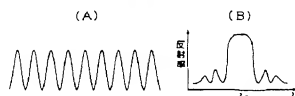
【図4】



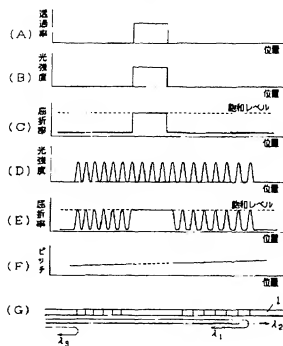
【図5】



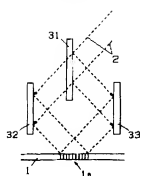
【図11】



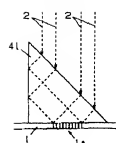
【図6】



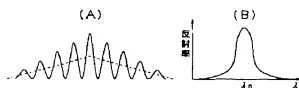
【図9】



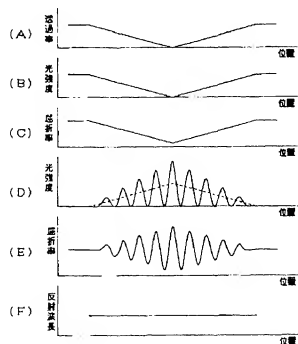
【図10】



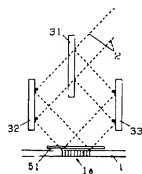
【図12】



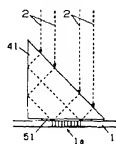
【図13】



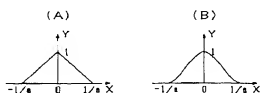
【図15】



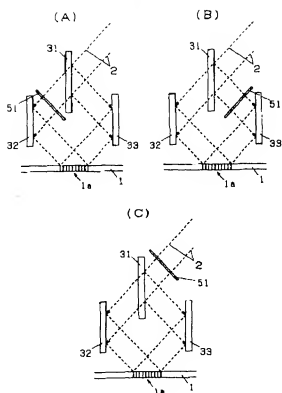
【図17】



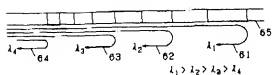
【図18】



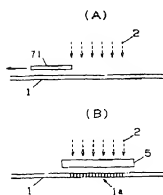
【図16】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

(72)発明者 根本 正  
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
 気工業株式会社横浜製作所内